10.22092/spj.2022.360021.1275

20.1001.1.20086954.1401.38.1.3.6

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۱، سال ۱۴۰۱

اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) با دوره رشد کوتاه درکشت زمستانه

Genotype × Environment Interaction Effect on White Sugar Yield of Winter -Sown Short-Season Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars

داریوش طالقانی[۱*]، علی صارمی‌راد[۲]، مصطفی حسین‌پور[۳]، مسعود احمدی[۴]، حسن حمیدی [۵] و رضا نعمتی[۶]

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- پژوهشگر، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۴- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۵- پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۶- کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

چکیده

طالقانی، د.، صارمی‌راد، ع.، حسین‌پور، م.، احمدی، م.، حمیدی، ح. و نعمتی، ر. ۱۴۰۱. اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) با دوره رشد کوتاه در کشت زمستانه. **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۶۹-۵۳.

توسعه و ترویج کشت زمستانه چغندرقند یکی از راهکارهای مهم برای استفاده از بارندگی‌های فصلی و صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری برای تولید این محصول است. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید و گزینش ارقام برتر با دوره رشد کوتاه از میان ۱۱ رقم چغندرقند درکشت زمستانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان در سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تربت‌جام در دو سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) و در مزرعه تحقیقاتی کشت و صنعت جوین در یک سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸) اجرا شد. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود. نتایج بدست‌آمده از روش گرافیکی GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۸۳/۶۴ درصد از تغییرات کل عملکرد شکر سفید را توجیه کرد. بر اساس روش GGE بای‌پلات در محیط مغان در سال ۱۴۰۰ ارقام SVZB2019 و دراووس و در محیط‌های مغان در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، تربت‌جام در سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و جوین در سال ۱۳۹۹ ارقام FDIR19B3021، FDIR19B4028 و SVZA2019 به ترتیب، از نظر پایداری عملکرد شکر سفید، برتر بودند. از نتایج این پژوهش چنین نتیجه گیری شد که محیط نقش بسزایی در بیان فنوتیپی عملکرد شکر سفید در کشت زمستانه ارقام چغندر قند مورد بررسی داشت. بنابراین لازم است ارقام بر اساس شرایط اقلیمی و زراعی مناطق هدف انتخاب و برای کشت زمسستانه معرفی شوند.

واژه های کلیدی: چغندرقند، پایداری عملکرد، بیان فنوتیپی، GGE بای‌پلات، محیط ایده آل.

---

* نگارنده مسئول: d.taleghani@areeo.ac.ir تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۲۶۱۳

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) همواره به‌عنوان یک گیاه صنعتی مهم برای تولید شکر مطرح بوده است. این گیاه در مقایسه با بسیاری از گیاهان زراعی، به عنوان یک گیاه نسبتا متحمل به تنش کم آبی شناخته شده است. با این حال، کمبود آب در مراحل اولیه رشد و نمو ممکن است به رشد و بهره‌وری گیاه آسیب برساند (Chołuj *et al.*, 2014). کمبود آب در مراحل اولیه رشد چغندرقند نه‌تنها ممکن است به‌شدت از رشد و توسعه برگ آن جلوگیری کند، بلکه می‌تواند به میزان کمتری نیز رشد ریشه اصلی آن را کاهش دهد (Choluj *et al.*, 2004; Mohammadian *et al.*, 2005). علاوه بر این، بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که کمبود آب بر برخی از صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چغندرقند تأثیر می‌گذارد (Chołuj *et al.*, 2014). بنابراین کشت زمستانه می‌تواند راهکار مناسبی به‌منظور جلوگیری از آثار نامطلوب کمبود آب بر خصوصیات کمی و کیفیت محصول چغندرقند باشد.

در کشت پاییزه چغندرقند، با توجه به درجه حرارت پایین در طول دوره رشد، نیاز آبی گیاهان کاهش یافته و از سوی دیگر بیشترین مقادیر آب مورد نیاز گیاهان از طریق بارندگی‌های پاییز و زمستان تأمین می‌شود. بنابراین کشت پاییزه سبب افزایش کارایی مصرف آب و نیز ممانعت از آسیب‌های ناشی از تنش خشکی می‌شود (Taleghani *et al.*, 2011). کنترل طبیعی آفات و بیماری‌های مختلف از مزایای دیگر کشت پاییزه چغندرقند به شمار می‌رود. علی‌رغم مزایا و برتری هایی که کشت پاییزه چغندرقند نسبت به کشت بهاره آن دارد، پدیده ساقه‌روی (Bolting) یک محدودیت اساسی برای کشت پاییزه است (Metzger *et al.*, 2005; Schnepel and Hoffmann, 2016).

در کشت پاییزه، گیاهان چغندر قند با سرمای زمستان مواجه می‌شوند و چون در معرض دماهای پایین قرار می‌گیرند، منجر به بهاره‌سازی آن‌ها می شود (Schnepel and Hoffmann, 2016) و به دنبال آن شرایط روزهای بلند در فصل بهار باعث تولید ساقه گل‌دهنده و گل‌دهی درگیاهان می گردد (Milford *et al.*, 2010). تغییر از مرحله رویشی به مرحله زایشی، ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در ریشه را متوقف (Milford and Limb, 2008)، غلظت قند را کاهش و میزان تفاله را افزایش می‌دهد (Hoffmann and Kluge-Severin, 2011). میزان زیان ساقه‌روی با توجه به مرحله رشدی گیاهان می‌تواند متفاوت باشد، به‌طوری که وقوع ساقه‌روی در اوایل دوره رشد گیاهان باعث کاهش قابل توجه (تا ۵۰ درصد) عملکرد ریشه می‌شود (Hoffmann and Kluge-Severin, 2011) که طبیعتاً با کاهش عملکرد ریشه، میزان قند و عملکرد شکر نیز کاهش می‌یابد.

پدیده ساقه روی مشکلاتی برای ماشین‌های برداشت و کند شدن تیغه‌های

دستگاه خلال‌گیری در کارخانه قند ایجاد می کند (Rinaldi and Vonella, 2006; Streibie *et al.*, 2009). کشت زمستانه چغندرقند به منظور رفع مشکلاتی که در نتیجه ساقه‌روی در کشت پاییزه ایجاد می‌شود و نیز جهت بهره‌گیری از مزایایی که برای کشت پاییزه عنوان شد، برای اولین‌بار در ایران مطرح شده است. در کشت زمستانه چغندرقند، پیری و ریزش برگ‌ها که ذخایر فتوسنتزی گیاه را به هدر می‌دهند، به حداقل می‌رسد (Alimoradi, 2002). از سوی دیگر به این دلیل که دمای هوا نیز رو به افزایش است، میزان ساقه‌روی نیز به طور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد (Basati *et al.*, 2003).

بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند در کشت زمستانه و گزینش ارقام برتر انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان و تربت‌جام و همچنین مزرعه تحقیقاتی کشت و صنعت جوین انجام شد. آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان در سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تربت‌جام در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) و در مزرعه تحقیقاتی کشت و صنعت جوین در یک سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸) اجرا شد.

ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۶۶ متر از سطح دریای آزاد واقع شده است. ایستگاه تحقیقات کشاورزی تربت‌جام در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۸۳۸ متر از سطح دریای آزاد واقع شده است. مزرعه تحقیقاتی کشت و صنعت جوین از در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۰۰ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد (Anonymous, 2022).

آزمایش با ۱۱ رقم چغندر قند با دوره رشد کوتاه (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. ارقام مورد بررسی بر اساس اظهارات شرکت‌های تولید کننده از دوره رشد کوتاهی برخوردار بودند. عملیات آماده‌سازی کامل زمین کشت در هر سه مکان شامل: شخم، دیسک و ایجاد ردیف کاشت (فارو کشی) بود که در پاییز انجام شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار خط به طول ۱۰ متر، فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خط بعد از تنک کردن بین ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر بود.

نظر به اینکه صفر فیزیولوژیکی چغندرقند سه درجه سانتیگراد تعیین شده است و در دمای هشت درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی بذر

آغاز می‌شود (Durr and Boiffin, 1995; Mavi and Tupper, 2004)، بنابراین در نیمه دوم بهمن با مساعد شدن شرایط حرارتی و نیز شرایط رطوبتی خاک نسبت به کشت بذر ارقام مورد بررسی بر روی خطوط کشت از پیش آماده شده اقدام شد. بر روی ردیف‌های کشت تعداد بذر بیشتری کاشته شد و پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک و به تراکم حدود ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار رسانده شد. آبیاری آزمایش به روش نشتی انجام گردید. مقادیر آب مصرفی بر اساس میزان تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A و با احتساب راندمان ۹۰ درصد محاسبه و به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌های آزمایشی توزیع شد. سایر عملیات داشت شامل مدیریت و کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در حد بهینه و مطابق با دستورالعمل های مربوطه و طبق نظر کارشناسان ذیربط انجام شد.

جدول ۱- نام و اطلاعات ارقام چغندرقند با دوره رشد کوتاه

Table 1. The name and information of short-season sugar beet cultivars

رقم Cultivar	شرکت Company	کشور Country	رقم Cultivar	شرکت Company	کشور Country
Cadmus	Maribo	Denmark	Shokoufa	Sugar Beet Seed Institute	Iran
Dravus	Maribo	Denmark	SVZA2019	SESVanderHave	Belgium
FDIR19B3021	Florimond Desprez	France	SVZB2019	SESVanderHave	Belgium
FDIR19B4028	Florimond Desprez	France	SVZC2019	SESVanderHave	Belgium
Modex	Maribo	Denmark	SVZD2019	SESVanderHave	Belgium
Asia	Sugar Beet Seed Institute	Iran	-	-	-

زمان برداشت (نیمه دوم تیر) به‌گونه‌ای تنظیم شد که معادل تاریخ برداشت در کشت پاییزه چغندرقند در این مناطق باشد. هنگام برداشت محصول ریشه‌های دو ردیف کشت میانی کرت‌های آزمایشی با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای (با سطح برداشتی معادل نه مترمربع) جمع‌آوری، شمارش و توزین شدند. پس از شستشوی ریشه‌ها، به‌طور تصادفی از ریشه‌های دو ردیف میانی هر کرت با استفاده از دستگاه خودکار ونما (Venema) نمونه خمیر تهیه و در آزمایشگاه کنترل کیفیت مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند از نظر ویژگی‌های کیفیت مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور نمونه‌های خمیر تهیه‌شده پس از خارج شدن از حالت انجماد، از هر نمونه ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر هیدروکسید استات سرب [Lead (II) Hydroxide Acetate] به مدت سه دقیقه در داخل همزن مخلوط گردید. پس از گذراندن محلول از صافی، مایع شفافی حاصل شد که از آن در دستگاه بتالایزر(Betalyser) (سیستم خودکار تجزیه کیفیت چغندرقند) برای اندازه‌گیری درصد قند ناخالص و ناخالصی‌های

ریشه شامل نیتروژن مضره، سدیم و پتاسیم برحسب میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر چغندرقند استفاده شد. در نهایت مقادیر به‌دست‌آمده برای این ویژگی‌ها، جهت برآورد عملکرد شکر سفید بر اساس رابطه ۱ انجام شد.

رابطه ۱ (Cook and Scott, 1993):

$$WSY = WSC \times RY$$

در این رابطه WSY عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار، WSC قند قابل استحصال برحسب گرم قند سفید در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه چغندرقند و RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار است.

تجزیه واریانس مرکب برای داده‌های عملکرد شکر سفید از شش محیط، پس از بررسی فرضیات مربوط به تجزیه و تحلیل داده ها، با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد. تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد با استفاده از رابطه ۲ انجام شد.

رابطه ۲ (Yan and Kang, 2002):

$$Y_{ij} - \mu - \beta^{j} = \lambda_1\xi_{i1}\eta_{i1} + \lambda_2\xi_{i2}\eta_{i2} + \varepsilon_{ij}$$

در این رابطه Y_{ij} میانگین ژنوتیپ iام در محیط jام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j اثر اصلی محیط jام، λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξ_{i1} و ξ_{i2} به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپی اولین و دومین مؤلفه، η_{j1} و η_{j2} به ترتیب بردارهای محیطی اولین و دومین مؤلفه و ε_{ij} مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ iام در محیط jام می باشند. برای تجزیه داده‌ها به روش گرافیکی GGE بای‌پلات از نرم‌افزار R و فراخوانی بسته (METAN = Multi-environment Trial analysis) (Olivoto and Lúcio, 2020) و بر اساس پنج الگوی:

۱. بررسی روابط میان محیط‌های آزمایشی،
۲. تعیین برترین رقم در هر مکان،
۳. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری عملکرد،
۴. رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل
۵. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل

استفاده شد.

مطالعه همبستگی میان محیط‌های تحت بررسی می‌تواند روابط بین محیط‌ها را معین نموده و در آزمایش‌های آتی از نظر صرف وقت و هزینه مفید باشد. در نمودار بررسی روابط میان محیط‌های آزمایشی، کسینوس زاویه بین بردارها درجه همبستگی را نشان می دهد. اگر زاویه بین بردارها کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت خواهد بود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها بیانگر عدم وجود همبستگی بین محیط‌ها است و درصورتی‌که زاویه بین بردارها بزرگ‌تر از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین محیط‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر اصلی محیط و رقم بر عملکرد شکر سفید در

سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. این موضوع حاکی از تفاوت رفتار ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و از جمله مشکلاتی است که به‌نژادگران در گزینش و آزادسازی ارقام جدید با آن مواجه هستند، می‌باشد. نتایج حاکی از آن بود که محیط ۷۱/۵۰ درصد از تغییرات مشاهده شده برای عملکر شکر سفید را توضیح داد و بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد شکر سفید داشت (جدول ۲). پس‌ازآن، ژنوتیپ با ۹/۸۰ درصد بیشترین واریانس توجیه‌شده را دارا بود. برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۷/۲۰ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند با دوره رشد کوتاه

Table 2. Combined analysis of variance for white sugar yield of short-season sugar beet cultivars

S. O. V.	منابع تغییر	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	درصد واریانس توجیه شده Explained variance (%)
Environment (E)	محیط	5	1630.41	326.08**	71.50
Block/ (E)	بلوک/ (محیط)	18	32.57	1.81	1.40
Genotype (G)	ژنوتیپ	10	222.64	22.26**	9.80
G × E	ژنوتیپ×محیط	50	164.45	3.29**	7.20
Error	خطا	180	231.15	1.28	10.10
C. V. (%)	درصد ضریب تغییرات			14.56	

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

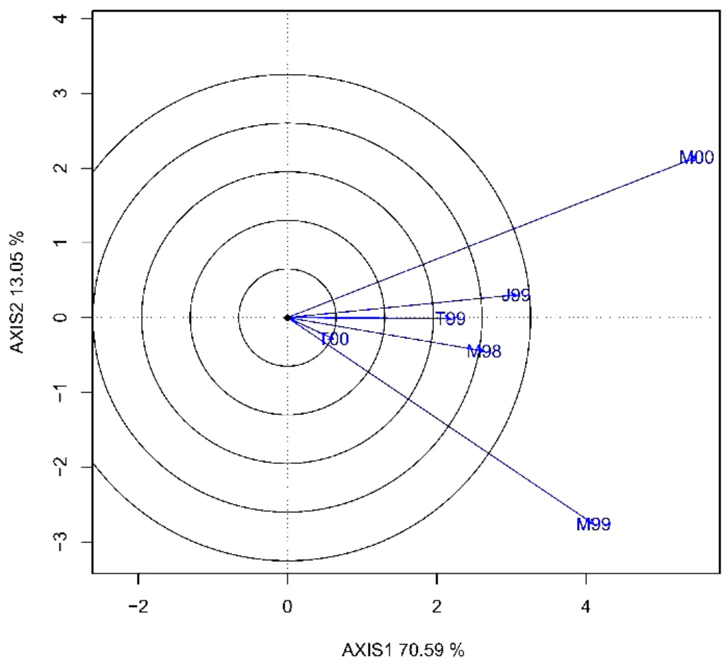
**: Significant at the 1% probability level.

باصفا و طاهریان (Basafa and Taherian, 2016) واریانس توجیه‌شده برای برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ذرت علوفه ای را برابر ۷/۸۴ درصد گزارش کردند. مصطفوی و صارمی‌راد (Mostafavi and Saremirad, 2021) واریانس توجیه‌شده برای محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ذرت را به ترتیب برابر با ۱۷/۶۹، ۳۲/۷۹ و ۱۷/۹۰ درصد از واریانس کل اعلام نمودند. در مطالعه آن‌ها، ژنوتیپ بیشترین تغییرات را در عملکرد (تقریباً دو برابر محیط) ایجاد نمود که بیانگر تفاوت زیاد ژنوتیپ‌ها بود، اما در پژوهش حاضر محیط بیشترین تغییرات را ایجاد کرد که نشان می‌دهد شرایط محیطی در میان محیط‌ها به‌شدت متفاوت بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد شکر سفید تأثیرپذیری زیادی از شرایط محیطی و مدیریتی مزرعه داشت.

تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات

برای شناسایی تفاوت بین ارقام چغندرقند، محیط‌ها و مطالعه اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط از روش تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات

استفاده شد. نتایج نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۷۰/۵۹ و ۱۳/۰۵ درصد و در مجموع ۸۳/۶۴ درصد از تغییرات کل عملکرد شکر سفید را توضیح داد (شکل ۱). این موضوع بیانگر اعتبار نسبتاً زیاد نمودارهای بای‌پلات حاصل از این مطالعه در توجیه تغییرات عملکرد شکر سفید تحت تاثیر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط می‌باشد. هنگامی که مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتوانند بیشتر تغییرات مشاهده شده را توجیه کند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط است (Yan and Tinker, 2005)، اما این امر به معنای نامعتبر بودن بای‌پلات نیست (Yan *et al.*, 2007).



شکل ۱- بای‌پلات برای روابط بین محیط‌های آزمایشی. M: مغان، T: تربت جام و J: جوین

F. 1. Biplot for the relationship between the experimental environments. M: Moghan, T: Torbat-e-Jam and J: Joveyn

زمانی که نمودارهای بای‌پلات حداقل ۶۰ درصد از واریانس کل را توجیه نماید، می‌توان برای تعیین محیط‌های بزرگ (Mega-environments) از آن استفاده کرد (Yang *et al.*, 2009). حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2018) نشان دادند که ۶۲/۹ درصد از تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌وسیله دو مؤلفه اصلی اول و دوم توجیه شد. صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2020) در آزمایشی بر روی آفتابگردان، مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم را حدود ۷۴ درصد برآورد کردند و

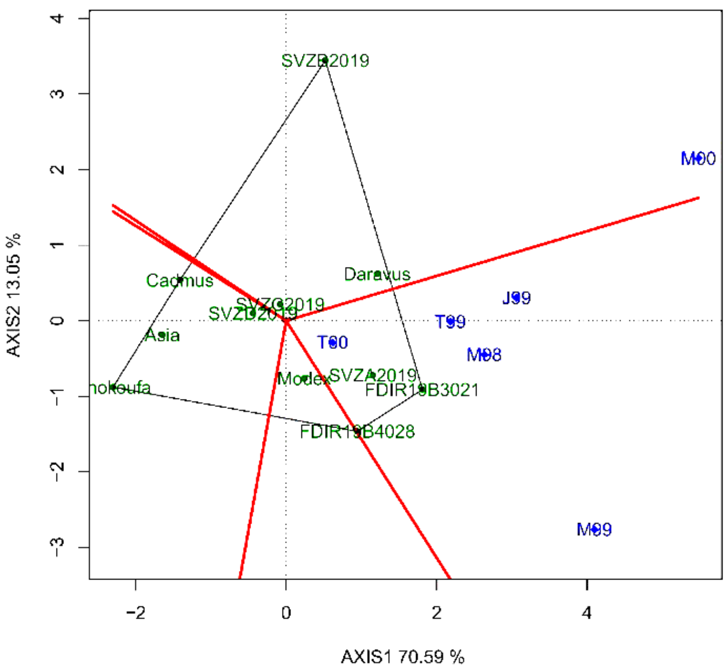
اظهار داشتند که مؤلفه اول سهمی در حدود ۴۶ درصد و مؤلفه دوم سهمی نزدیک به ۲۷ درصد از تغییرات کل را دارا بود.

بر اساس اطلاعات شکل ۱ هراندازه زاویه بین بردارهای محیط‌ها کمتر باشد، بین محیط‌ها همبستگی بیشتری وجود دارد. در واقع بالا بودن همبستگی بین محیط‌ها به معنای وجود همبستگی بالا بین رتبه ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، بین ایستگاه‌های تحقیقاتی در سال‌های مختلف همبستگی مثبتی وجود داشت که این نشان‌دهنده پاسخ نسبتاً مشابه ارقام در این مکان‌ها بود (شکل ۱). بنابراین بین رتبه عملکرد شکر سفید این ارقام تفاوت چندانی وجود نداشت. شرایط محیطی در ایستگاه مغان در دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به‌گونه‌ای بود که همبستگی تقریباً نزدیک به صفر بود (شکل ۱). به عبارت دیگر، واکنش ارقام به محیط در این ایستگاه در دو سال متوالی مستقل از هم بود. در مجموع مکان‌های مورد مطالعه دارای همبستگی نزدیکی بودند، بنابراین برای کاهش هزینه‌ها برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود مکان‌های مساعد دیگری نظیر مناطق جنوبی استان فارس و استان ایلام نیز برای بررسی ها کشت زمستانه چغندر قند مد نظر قرار گیرند.

طول بردار محیط‌ها تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط است و نیز به‌عنوان شاخصی جهت تمایز محیط‌ها می‌باشد، بدین‌صورت که محیط‌های با طول بردار بیشتر از انحراف معیار بیشتری برخوردار هستند و بنابراین قابلیت تمایز بیشتری دارند (Yan and Kang, 2002). بنابراین یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط قابلیت تمایز آن می‌باشد، به‌نحوی که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ارائه کنند (Yan and Kang, 2002). بررسی بردارهای محیط‌ها حاکی از این بود که مغان و جوین دارای طول بردارهای بلندی هستند که نشان‌دهنده قابلیت تمایز بالای این محیط‌ها است و محیط تربت‌جام در سال ۱۴۰۰ به علت دارا بودن طول بردار کوتاه‌تر قابلیت تمایز کمتری داشت (شکل ۱). در نهایت مطالعه بای‌پلات همبستگی محیط‌ها نشان داد که بیشتر محیط‌های آزمایشی دارای قابلیت تمایز بالایی بودند و توانستند در مطالعه اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند، میان ارقام تمایز مناسبی ارائه کنند .

برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ارقام برتر در مکان‌های مختلف بای‌پلات چندضلعی رسم شد (شکل ۲). در این بای‌پلات، یک چندضلعی مشاهده می‌شود که از اتصال ارقامی که حداکثر فاصله را از مبدأ مختصات دارند، حاصل می‌شود. ارقام FDIR19B3021 ،SVZB2019، FDIR19B4028 و شکوفا در دورترین فاصله قرار گرفتند و سبب تشکیل چندضلعی شدند. سپس از مبدأ مختصات خطوطی عمود بر اضلاع این چندضلعی رسم شد و محیط‌های بزرگ مشخص شد (Yan *et al.*, 2007). در بخش‌هایی که محیط‌ها قرار گرفتند و در رأس آن‌ها ارقام

وجود دارد، بدان معنا است که این ارقام در آن محیط‌ها از عملکرد شکر سفید قابل قبولی برخوردار بودند (شکل ۲). به عبارت دیگر، بهترین ارقام برای کشت در این محیط‌ها می‌باشند. بر این اساس در محیط مغان در سال ۱۴۰۰ ارقام SVZB2019 و دراووس و در محیط‌های مغان در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، تربت‌جام در سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و جوین در سال ۱۳۹۹ ارقام FDIR19B3021، FDIR19B4028 و SVZA2019 به ترتیب، از نظر عملکرد شکر سفید، ارقام برتر بودند. رقم SVZC2019 که در نزدیک مرکز بای‌پلات قرار گرفت، دارای عملکرد شکر سفید متوسط در تمام محیط‌ها بود (شکل ۲). سایر ارقام در بخش‌هایی از چند ضلعی قرار گرفتند که هیچ محیطی در آن وجود ندارد، یعنی برای کشت در هیچ‌یک از مناطق مورد بررسی مطلوب نیستند و جزو ارقام ضعیف در بیشتر مناطق مورد آزمایش بودند.



شکل ۲- بای‌پلات چندضلعی برای شناسایی ارقام چغندرقند با دوره رشد کوتاه مناسب در هر محیط.
M : مغان، T: تربت جام و J : جوین

Fig .2. Polygons of GGE biplot for identification of the suitable short-season sugar beet cultivars in each environment. M: Moghan, T: Torbat-e-Jam and J: Joveyn

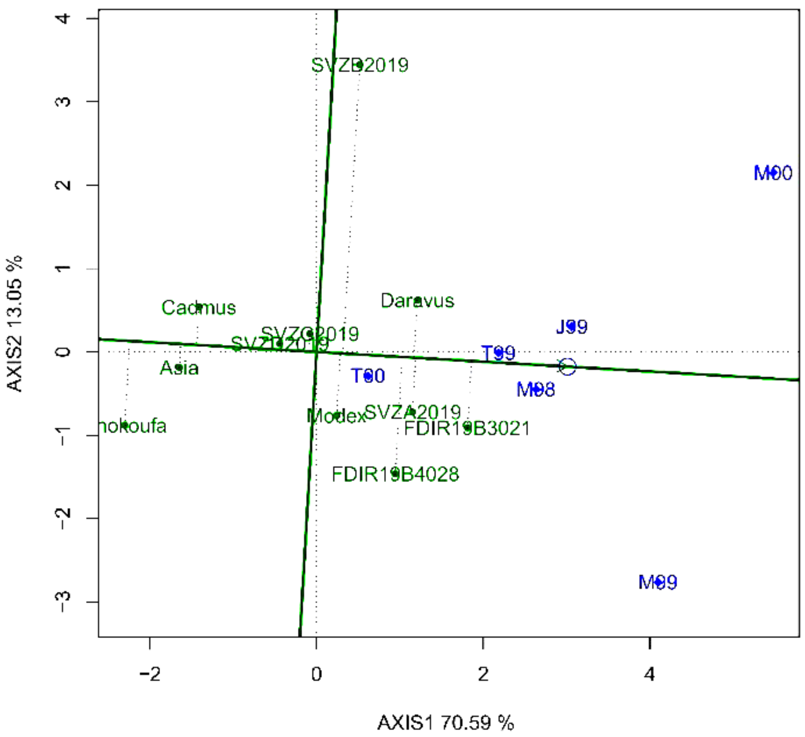
بر اساس این بای‌پلات (شکل ۲)، محیط‌های مورد آزمایش در دو محیط بزرگ قرار گرفتند، به‌طوری که مغان در سال ۱۴۰۰ در اولین محیط بزرگ و سایر محیط‌ها شامل مغان در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، تربت‌جام در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و جوین در سال ۱۳۹۹ در دومین محیط

بزرگ حضور یافتند. با توجه به این نتیجه می‌توان استنباط کرد که به دلیل این‌که سه مکان آزمایشی مغان، تربت‌جام و جوین (به‌ویژه تربت‌جام و جوین) آثار نسبتا مشابهی بر عملکرد شکر سفید داشتند، بنابراین در پژوهش های آتی در زمینه سازگاری و پایداری عملکرد چغندرقند از نظر عملکرد شکر سفید، بهتر است یکی از محیط‌های تحت بررسی استفاده شود و بجای دو محیط دیگر، مناطق جدید دیگری را مد نظر قرار داد.

رنجی و همکاران (Ranji *et al.*, 2005) با ارزیابی ارقام مختلف چغندرقند، ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را شناسایی کردند. حسنی و همکاران (Hassani *et al.*, 2021) با استفاده از نمودار چندضلعی، محیط‌های مختلف کشت چغندرقند را در دو گروه قرار دادند و ژنوتیپ‌های دارای بالاترین سازگاری با آن محیط ها را معرفی کردند. صارمی‌راد و طالقانی (Saremirad and Taleghani, 2022) هیبریدهای چغندرقند را در هفت منطقه از نظر پایداری عملکرد ارزیابی و گزارش کردند که اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر ویژگی‌های کمی و کیفیت عملکرد قند هیبریدهای چغندرقند معنی دار بود. بنابراین، هنگام تولید هیبریدهای جدید باید این موضوع مد نظر قرار گیرد، زیرا برآورد اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط این امکان را فراهم می‌کند تا در خصوص بهبود سازگاری عمومی یا خصوصی که بستگی به عملکرد و پایداری عملکرد، در مناطق گسترده یا مناطق محدود از شرایط محیطی دارد، تصمیم‌گیری شود و گام مؤثری در جهت توسعه ارقام دارای سازگاری و پایداری عملکرد در محیط(های) هدف برداشته شود.

برای بررسی هم زمان عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید ارقام چغندر قند مورد بررسی از نمودار بای‌پلات مختصات محیط میانگین استفاده شد (شکل ۳). در این نمودار محور افقی، که دارای یک فلش می‌باشد و از دایره کوچکی که نمایانگر میانگین محیط‌ها است و همچنین از مبدأ مختصات عبور می‌کند، نمایش‌دهنده میانگین عملکرد شکر سفید است و هر رقمی که در طول این محور و در مجاورت دایره کوچک (روی محور) قرار دارد، از میانگین عملکرد بیشتری برخوردار است (Yan *et al.*, 2000). محوری که عمود بر محور میانگین عملکرد است، نشان‌دهنده سنجش پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها است. ارقام دارای عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین در سمت راست محور و ارقام دارای عملکرد شکر سفید پایین‌تر از میانگین در سمت چپ محور قرار می‌گیرند. بر این اساس، رقم FDIR19B3021 و پس از آن ارقام SVZA2019، دراووس و مودکس به ترتیب دارای بیشترین عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید بودند و به‌عنوان ارقام برتر شناخته شدند (شکل ۳). رقم شکوفا دارای کمترین عملکرد شکر سفید بود و از پایداری عملکرد نسبتاً پایین‌تری نیز برخوردار بود (شکل ۳). نتایج سایر پژوهشگران (Kaya *et al.*, 2006; Mostafavi and Saremirad, 2021;

پژوهش حاضر نشان داد که نمودار بای‌پلات مختصـــات محـــیط میـــانگین در روش GGE بای‌پلات از روش‌های مفید در تجزیه پایداری عملکرد به شمار می‌رود که اطلاعات خوبی در خصوص پایداری عملکرد ارقام مورد بررسی در اختیار قرار می‌دهد. مصطفوی و همکاران (Saremirad and Mostafavi, 2021) و نیز نتایج (Mostafavi et al., 2018) نیز با استفاده از بای‌پلات برای ارقام چغندر قند، رقم جم با پایداری عملکرد بالا و ارقام-302×(113×KWS) HSF.20، (113×A37).1)×S1.88239 و (113×A37.1)×SH-1-HSF.5 به ترتیب با عملکرد و پایداری عملکرد پایین را شناسایی کردند.



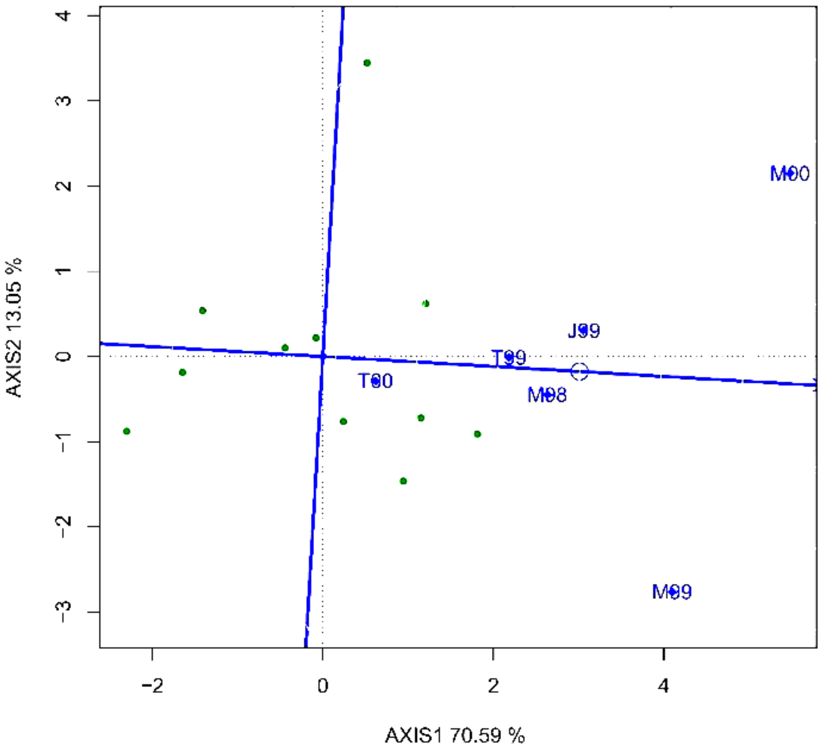
شکل ۳- بای‌پلات برای رتبه‌بندی ارقام چغندرقند با دوره رشد کوتاه بر اساس میانگین عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید. M: مغان، T: تربت جام و J : جوین

Fig. 3. Biplot for ranking short-season sugar beet cultivars based on average white sugar yield and yield stability. M: Moghan, T: Torbat-e-Jam and J: Joveyn

رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل در شکل ۴ نشان داده شده است. محیط‌های ایده‌آل بیشترین قابلیت تشخیص و نمایندگی را در بین محیط‌هـــای دیگـــر دارد. مرکـــز دوایـــر متحدالمرکز جایی است که محیط ایده‌آل فرضی قرار دارد. محیط ایده‌آل محیطی است که هم از قدرت تفکیک بیشتر برخوردار باشد و هم بتواند نماینده سایر محیط‌های آزمایشی باشد. دارا بودن

یکی از این دو مؤلفه برای تعیین محیط ایده‌آل کافی نیست. بر اساس نتایج هیچ‌یک از محیط‌های آزمایشی در نزدیکی محیط ایده‌آل قرار نگرفتند (شکل ۴). محیط مغان، با توجه به طول بیشتر محورو فاصله زیاد آن با محور میانگین عملکرد (شکل ۳)، هر دو ویژگی محیط ایده‌آل را ندارد و تنها از قدرت تفکیک بیشتر برخوردار بود (شکل ۴). تربت‌جام به دلیل اینکه بیشترین فاصله را از مرکز دوایر متحدالمرکز داشت، به‌عنوان ضعیف‌ترین محیط شناخته شد.

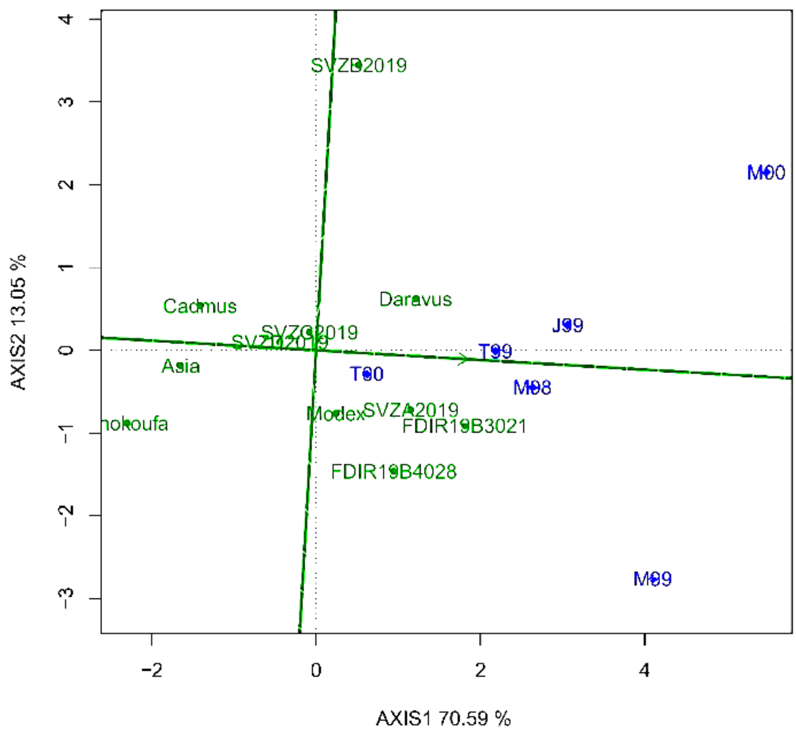
محیط ایده‌آل یک نماینده مناسب برای بررسی سازگاری ارقام است. در واقع محیط‌های ایده‌آل نشان‌دهنده ایده‌آل‌ترین الگوی پاسخ ارقام به محیط می‌باشند (Mostafavi and Saremirad, 2021). مصطفوی و همکاران (Mostafavi *et al*., 2018) با بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان دادند که کرج به دلیل قرار گرفتن در نزدیک‌ترین دایره نسبت به مرکز دوایر متحدالمرکز به‌عنوان بهترین ایستگاه از نظر کشت چغندرقند شناخته شد و بعد از آن به ترتیب مشهد، اصفهان، کرمانشاه و مغان قرار گرفتند.



شکل ۴- بای‌پلات رتبه‌بندی محیط‌های آزمایشی بر اساس محیط ایده‌آل فرضی. M: مغان، T: تربت جام و J: جوین

Fig. 4. Biplot of ranking experimental environments based on hypothetical ideal environment. M: Moghan, T: Torbat-e-Jam and J: Joveyn

شناسایی رقم ایده‌آل فرضی بر اساس مفاهیم عملکـرد و پایـداری عملکـرد بـالامی‌باشـد. بـر ایـن اساس رقمـی مطلـوب است کـه دارای بیشترین عملکرد شکر سفید و پایـداری عملکـرد باشـد و هـر رقمـی کـه نزدیـک‌تـرین فاصلـه را با این ژنوتیپ فرضی دارا باشد، به‌عنوان یک رقم برتر، و رقمـی کـه دارای بیشـترین فاصلـه از ایـن رقم ایده‌آل فرضی باشد، به‌عنوان نامطلوب‌تـرین رقم شناخته مـی‌شـود (Yan and Kang, 2002). بر اسـاس ایـن تعریـف، ارقـام FDIR19B3021، SVZA2019 و دراووس بـــه دلیـــل اینکـــه کمترین فاصله را با رقم ایـده‌آل فرضـی داشـتند، بـه‌عنـوان ارقـام برتـر شناسـایی شـدند و رقـم شکوفا به علت اینکه دارای بیشترین فاصله از رقم ایده‌آل فرضی بود، به عنـوان رقـم نـامطلوب بـود (شکل ۵).



شکل ۵- بای‌پلات رتبه‌بندی ارقام چغندرقند با دوره رشد کوتاه بر اساس رقم ایده‌آل فرضـی. M: مغـان، T: تربت جام و J: جوین

Fig. 5. Biplot of ranking short-saeson sugar beet cultivars based on hypothetical ideal genotype. M: Moghan, T: Torbat-e-Jam and J: Joveyn

نتیجه‌گیری

کشـت زمسـتانه چغندرقنـد (کشـت در نیمـه دوم بهمن) می تواند یکـی از راهکارهـای مهـم درکنترل پدیده ساقه‌روی در منـاطق مغـان و یـا مناطق معتدل گرم استان خراسان و مناطق مشـابه باشد. با انتقـال زمـان کاشـت بـه اواخـر زمسـتان

می‌توان تا حد زیادی مشکل ساقه‌روی را کنترل کرد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در هیچ‌کدام از ارقام مورد بررسی و در هیچ یک از محیط های آزمایشی پدیده ساقه‌روی مشاهده نشد. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، محیط نقش بسزایی در بیان فنوتیپی صفات مختلف در کشت زمستانه ارقام چغندرقند مورد بررسی داشت. بین ایستگاه‌های تحقیقاتی در سال‌های مختلف همبستگی مثبت مشاهده شد. در محیط مغان در سال ۱۴۰۰ ارقام SVZB2019 و دراووس و در محیط‌های مغان در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، تربت‌جام در سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و جوین در سال ۱۳۹۹ ارقام FDIR19B3021، FDIR19B4028 و SVZA2019 به ترتیب، از نظر عملکرد شکر سفید، ارقام برتر شناخته شدند. در مجموع رقم FDIR19B3021 و پس از آن به ترتیب ارقام SVZA2019، دراووس و مودکس دارای بیشترین عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید بودند.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت و کارکنان موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند و ایستگاه های تحقیقاتی که در اجرای این پروژه پژوهشی همکاری کردند، سپاسگزاری می کنند.

References

Alimoradi, A. 2002. Autumn–sown sugar beet characteristics. pp. 192-198. In: Proceedings of the 24th Seminar of Iranian Sugar Factories. Mashhad, Iran. (in Persian).

Anonymous. 2022. Determining longitude, latitude and altitude. Iran. https://www.bahesab.ir/map/geographic/

Basafa, M., and Taherian, M. 2016. Analysis of stability and adaptability of forage yield among silage corn hybrids. Journal of Crop Breeding 8 (19): 185-191.

Basati, J., Kolivand, M., Neamati, A., and Zareii, A. 2003. Study of autumn sowing of sugar beet in the tropical areas of Kermanshah province. Journal of Sugar Beet 18 (2): 119-130 (in Persian).

Choluj, D., Karwowska, R., Jasinska, M., and Haber, G. 2004. Growth and dry matter partitioning in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought. Plant, Soil and Environment 50 (6): 265-272.

Chołuj, D., Wiśniewska, A., Szafrański, K. M., Cebula, J., Gozdowski, D., and Podlaski, S. 2014. Assessment of the physiological responses to drought in different sugar beet genotypes in connection with their genetic distance. Journal of Plant Physiology 171 (14): 1221-1230.

Cook, D., and Scott, R. 1993. The sugar beet crop: science into practice. Champan and Hall Press. New York, USA. 704 pp.

Durr, C., and Boiffin, J. 1995. Sugar beet seedling growth from germination to first leaf stage**.** The Journal of Agricultural Science 124 (3): 427-435.

Hassani, M., Hamze, H., and Mansouri, H. 2021. Evaluation of adaptability and stability of root yield and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes using multivariate AMMI and GGE biplot method**.** Journal of Crop Breeding 13 (37): 222-235 (in Persian).

Hassani, M., Heidari, B., Dadkhodaie, A., and Stevanato, P. 2018. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.)**.** Euphytica 214 (4): 1-21.

Hoffmann, C. M., and Kluge-Severin, S. 2011. Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet**.** European Journal of Agronomy 34 (1): 1-9.

Kaya, Y., Akçura, M., and Taner, S. 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat**.** Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30 (5): 325-337.

Mavi, H. S., and Tupper, G. J. 2004. Agrometeorology: principles and applications of climate studies in agriculture. CRC Press. 447 pp.

Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H., Mücher, C. A., and Watkins, J. W. 2005. A climatic stratification of the environment of Europe**.** Global Ecology and Biogeography 14 (6): 549-563.

Milford, G., Jarvis, P., and Walters, C. 2010. A vernalization-intensity model to predict bolting in sugar beet**.** The Journal of Agricultural Science 148 (2): 127-137.

Milford, G., and Limb, R. 2008. Bolting in sugar beet–time to re-evaluate our advice**.** British Sugar Beet Review 76: 3-5.

Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., and Sadeghian, S. 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes**.** Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29 (5): 357-368.

Mostafavi, K., Orazizadeh, M., Rajabi, A., and Ilkaei, M. N. 2018. Stability and adaptability analysis in sugar beet varieties for sugar content using GGE-biplot and AMMI methods**.** Bulgarian Journal of Agricultural Science 24 (1): 40-45.

Mostafavi, K., and Saremirad, A. 2021. Genotype-environment interaction study in corn genotypes using additive main effects and multiplicative interaction method and GGE- biplot method**.** Journal of Crop Production 14 (3):1-12 (in Persian).

Olivoto, T., and Lúcio, A. D. C. 2020. METAN: An R package for multi-environment trial analysis**.** Methods in Ecology and Evolution 11 (6): 783-789.

Ranji, Z., Mesbah, M., Amiri, R., and Vahedi, S. 2005. Study on the efficiency of AMMI method and pattern analysis for determination of stability in sugar beet varieties**.** Iranian Journal of Crop Science 7 (1): 1-20 (in Persian).

Rinaldi, M., and Vonella, A. V. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in southern Italy: water and radiation use efficiency**.** Field Crops Research 95 (2-3): 103-114.

Saremirad, A., and Mostafavi, K. 2021. Using AMMI and biplot graphical analysis multivariate methods to evaluate the effect of genotype-environment interaction in cotton genotypes**.** Iranian Journal of Cotton Researches 8 (2): 127-144 (in Persian).

Saremirad, A., Mostafavi, K., and Mohammadi, A. 2020. Genotype-environment interaction study based on the GGE biplot method for kernel yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars**.** Journal of Crop Breeding 12 (34): 43-53 (in Persian).

Saremirad, A., and Taleghani, D. 2022. Utilization of univariate parametric and non-parametric methods in the stability analysis of sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids**.** Journal of Crop Breeding 14 (43): 49-63 (in Persian).

Schnepel, K., and Hoffmann, C. 2016. Effect of extending the growing period on yield formation of sugar beet**.** Journal of Agronomy and Crop Science 202 (6): 530-541.

Streibie, J. C., Ritz, C., Pipper, C. B., Yndgaard, F., Fredlund, K., and Thomsen, J. N. 2009. Sugar beet, bioethanol, and climate change. pp. 820-821. In: IOP Conference Series. Earth and Environmental Science Volume 6. IOP Publishing.

Taleghani, D., Moharamzadeh, M., Hemayati, S. S., Mohammadian, R., and Farahmand, R. 2011. Effect of sowing and harvest time on yield of autumn-sown sugar beet in Moghan region in Iran**.** Seed and Plant Production Journal 27 (2): 355-371.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot**.** Crop Science 40 (3): 597-605.

Yan, W., and Kang, M. S. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists CRC press. 288 pp.

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., and Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data**.** Crop science 47 (2): 643-653.

Yan, W., and Tinker, N. A. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying,

interpreting, and exploring genotype × environment interaction**.** Crop Science 45 (3): 1004-1016.

Yang, R. C., Crossa, J., Cornelius, P. L., and Burgueño, J. 2009. Biplot analysis of genotype × environment interaction: Proceed with caution**.** Crop Science 49 (5): 1564-1576.